

メカトロ教育用マイコンボードとその活用事例の紹介

福井大学大学院工学研究科機械工学専攻

川谷 亮 治

1. はじめに

メカトロニクスは、機械工学と電子工学の融合技術であり、近年、発展が著しいマイコンが導入されることで、その適用範囲が急速に拡大している。その意味で、現代のエンジニアが身につけておくべき技術の一つであるといえる。このメカトロニクスに関する知識は、座学による獲得も必要ではあるが、実体験を通して理解することも欠かすことができない。そのためには自律移動型ロボットが適した題材であると考えられる。ロボットが自律して行動するためには、マイコンの管理の下で、適切なセンサを利用して周囲の状況を把握し、アクチュエータによる適切な駆動が必要になる。このことから、自律移動型ロボットの設計・製作を通して、メカトロニクスの基礎を体験しながら理解できると考える。また、自律移動型ロボットは、そのハードウェアからプログラミングに至るまで無限のバリエーションがあり、創成教育としても有効である。

ところで、自律移動型ロボットの設計・製作において、マイコンボードは重要な選択肢の一つである。汎用のマイコンボードはその候補になり得るが、ある程度目的に合わせて設計されたマイコンボードの方が使い勝手は良い。そこで、本稿では、自律移動型ロボットに搭載することを前提として開発したマイコンボード TK400A⁽¹⁾を紹介するとともに、実際にそれを演習等に活用したいいくつかの事例を紹介する。

2. マイコンボード TK400A

2.1 基本構成

マイコンボード TK400A を図1に示す。大きさは10 [cm] × 11 [cm] である。TK400A の基本構成を以下に列挙する。

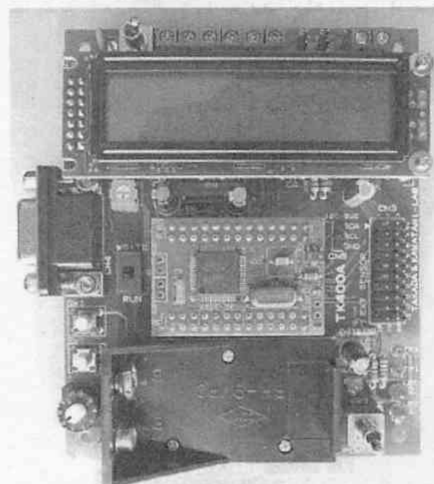


図1 マイコンボード TK400A

- (1) CPU: 16ビットシングルチップマイコン H8/3694F (20[MHz], 32KB Flash-ROM, 2 KB S-RAM)

教育用としては必要十分な37本のI/Oと、豊富な周辺機能モジュールや拡張性を高めるI²Cバスインタフェースを内蔵しており、コストパフォーマンスが高いことから採用した。

- (2) LED×2, 液晶表示器 LCD(2行16文字)×1

- (3) タクトスイッチ×2, 10進ロータリーディップスイッチ×1

- (4) モータドライバ TB6549PG×2

最大定格30V, 3.5A, PWM制御機能付き。

- (5) ラジコンサーボ用端子×2

- (6) アナログ/デジタル用入力専用端子×8

アナログとデジタルの選択はソフトウェアで指定可能である。

- (7) I²Cバスインターフェース端子×1

I²Cバスを搭載した外部デバイス(メモリ、クロックモジュールなど)用である。またI/Oポートエクспанダ(たとえばMAX7312)を利用することでI/Oポートを増設することも可能である。

- (8) シリアルポート(Dサブ9pin)コネクタ×1

標準コネクタを搭載することにより専用ケーブルを必要とせず、プログラムの書き込みやデバッグ、外部機器との通信が可能である。

- (9) マイコン駆動用電源(乾電池)×1

006P型9Vの電池ケースを搭載することにより、外部からの電源供給を必要とせず、マイコンボード単体での利用が可能である。

TK400Aは、自律移動型（特に二輪独立駆動型）ロボットに搭載することを意識しているため、2チャンネルの直流モータドライバを標準装備している。また、ロボット上で簡易アームを動かせるように、2チャンネルのラジコンサーボドライバも標準装備している。なお、シリアルインタフェースを有するサーボモータコントローラを利用すれば、TK400Aのシリアルポートを通して3個以上のサーボモータの駆動が可能となる。さらに、センサ用の入力専用端子を1ポート（8端子）用意してあるので、8個までのアナログまたはデジタル出力のセンサからの情報を受け取ることが可能である。

以上の基本構成から、自律移動型ロボットを前提としているものの、メカトロ教育用としても十分な機能を有しているといえる。なお、TK400Aに対するプログラム開発環境として、Windows上のGUIで操作できる有限会社イエローソフトの統合開発環境 YellowIDE を採用している。

2.2 TK400Aに関する資料

TK400Aは完成品ではなく、利用者自らがハンダ付け作業による部品実装を行うことで完成するキット形式になっている。また、マイコンの利用経験のない初心者に対してもTK400Aを容易に使いこなせる工夫が必要であることから、以下に示すものを用意している。

(1) TK400A 製作マニュアル

利用者が自主的に製作に取り組めるように、部品実装の手順に加え、部品実装を通して、抵抗のカラーコードの読解や部品の名称、実装方法などを体験的に学べるように意図したマニュアル（全15ページ）。

(2) サポートライブラリ関数と利用マニュアル

CPU動作環境設定、スイッチ・センサ入力、モータ制御、ラジコンサーボ制御、時間待ち関数、AD入力関数、LCD表示制御関数の7分野について支援するためのライブラリ関数とその利用マニュアル（全12ページ）。

(3) 自習用テキスト

C言語の基礎、TK400A上の基本要素（LED、スイッチ、LCD）の操作法、モータ・ラジコンサーボの制御法、センサ入力など、ロボットを制御するために必要な知識を、演習を通して自学習できるテキスト（全49ページ）。

3. 活用事例

本章では、筆者がこれまでに行ってきたTK400Aの活用事例について紹介する。

3.1 機械創造演習⁽²⁾

筆者が所属する機械工学科の3年生を対象とした機械創造演習は通年の演習科目（必修）であり、前・後期それぞれ15コマ（2.5時間/コマ）の演習時間が割り当てられている。本演習では4～5のプロジェクトを用意しており、希望に合わせて学生を各プロジェクトに配属させている。その一つである「移動ロボットプロジェクト」が筆者の担当である。

本プロジェクトの目的は、自律移動型ロボットの設計・製作を通して、メカトロニクスの基礎の習得を目指すとともに、ハードウェアからソフトウェアに至る総合的な設計を体験すること、である。

本プロジェクトでは、配属された学生（約20名）をグループ分けし、グループ単位で課題に取り組ませる。本演習の開始当初は1グループあたり5名の4グループとしていたが、演習の負担を考慮して、平成24年度は1グループあたり3名としている。

学生に与える課題は毎年変えている。平成23年度は、格子状のコース内に置かれたピンポン球（1個）を発見し、それをゴールまで運搬するという内容とした。なお、コース上には障害物が1個置かれており、それは回避しなければならない。

本課題をクリアするためには、自律移動型ロボットの設計・製作に加えて、ライントレースを行うためのフォトセンサ（デジタル出力）、ピンポン球を見つけるための測距センサ（アナログ出力）、移動のための2個の直流モータ、ピンポン球を運搬するためのラジコンサーボ駆動のアームを管理するプログラムの作成が必要となる。

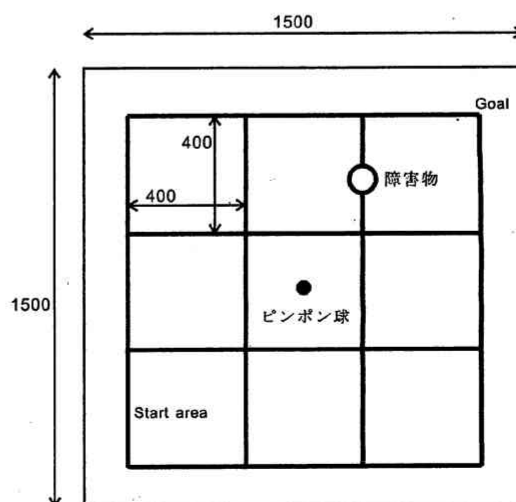


図2 競技コース（平成23年度）

TK400Aの製作は、前章で述べたマニュアルに従って行うことで、最初の2～3コマで、すべてのグループが完了できるようである。その後、自習用テキストを利用して、課題を解きながらプログラミングの学習を行う。それと並行してロボット本体の製作を進める。なお、例年、マイコンやC言語の知識がない学生が多いことから、演習時間以外の空き時間を活用して補足説明などを行っている。

学生に対しては、前期終了までに、図2の競技コースとは別に与えた滑らかな曲線のみからなるコースをライントレースし、そのコースの横に置かれたピンポン球を発見し、それをゴールまで運搬するロボットの製作というサブゴールを課している。このサブゴールには課題に対する基本的なエッセンスが盛り込まれているので、前期にこのサブゴールを達成しておけば、後期は自分たちの力でロボットを創り上げることが可能となる。平成23年度に学生が製作したロボットの一例を図3に示す。

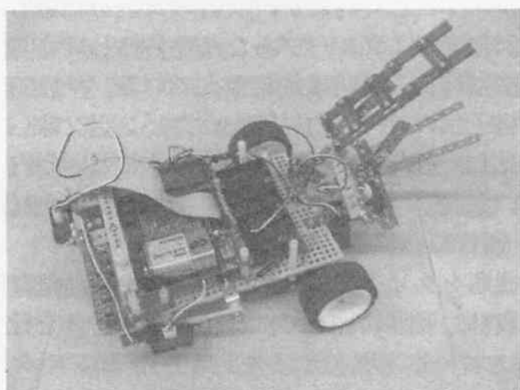


図3 製作したロボットの一例

本演習開始当初は、汎用マイコンボードを利用していたが、TK400Aに変更することで、回路製作のために必要な時間を短縮できただけでなく、回路の動作不良もより少なくなった。さらに、自習用テキストに多くのサンプルプログラムを掲載することによって、学生に対して自主的な学習を促すとともに、教員の負担軽減を図ることができたと考える。本演習の最後に学生に対してアンケート調査を行っているが、学生の満足度が高いことが確認できる。

3.2 学際実験・実習

本演習は、工学部全学科・全学年を対象とした創成科目（選択）であり、前期15コマ（2.5時間/コマ）が演習時間として割り当てられている。筆者が担当しているのは、図4に示す自律移動型ロボット（エフテック株式会社から市販されているP-ROBO2アドバンスのCPUボードをTK400Aで置き換えたもの）のマイコン制御である。

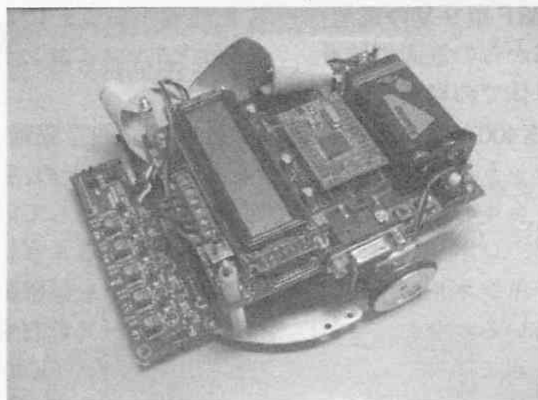


図4 P-ROBO2アドバンス改造版

本演習では、図4のロボット（完成品）を一人1台貸与し、課題をクリアするプログラミングに取り組ませている。平成24年度は、図5に示す格子状の迷路に対して3回までの走行を許可し、スタートからゴールまでの時間を競わせた。もちろん、ロボットに対して迷路に関する情報を与えてはいけない。

本演習の受講を希望する学生に対しては、C言語の基本的な文法を理解していることを必要条件としている。したがって、演習の最初の数回を利用して、マイコン特有のプログラミングに関して、前章で述べた自習用テキストに基づいて説明したあとは、学生の自主的開発に任せている。

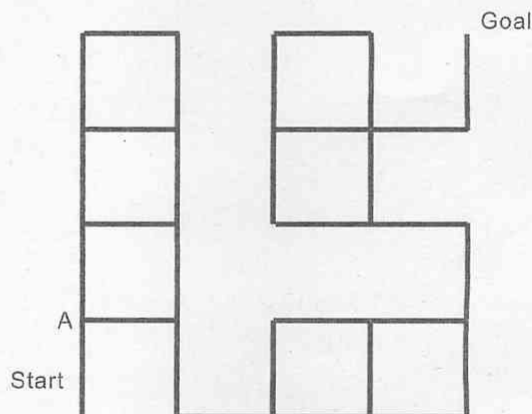


図5 ロボットが走破すべき迷路

3.3 コアSSH（スーパーサイエンスハイスクール）

前節までは、大学学部生を対象とした演習における事例であったが、（理系の大学に進学することを希望している）高校生を対象としたコアSSHの課題研究としても、図4のロボットを活用している。ただし、高校生のもっている知識と与えられた時間（3時間×5回程度）を考慮すると、自律移動型ロボットを題材として、マイコンで何ができるのかを実体験させることが主な内容となる。

3.4 制御教育用実験装置

TK400A は、各種センサから情報を受け取ることができるとともに、2 個の直流モータを駆動できる。それに搭載されているマイコンは数値処理を行える。これらのことから、TK400A は制御用としても十分に利用可能なマイコンボードである。そこで、TK400A を搭載した制御教育用実験装置として、車輪型倒立振り子系 (MCORE-IP) の開発を行った⁽³⁾。

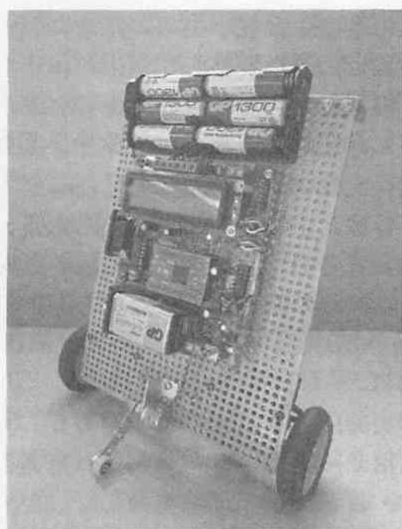


図6 車輪型倒立振り子系

本系の制御目的は、二輪独立駆動型ロボットの本体部を(図6のように)安定に立たせることである。本系では、本体部の角度を検出するためのポテンシオメータと駆動輪の回転角を計測するためのロータリーエンコーダをセンサとして利用している。

(1) 状態空間モデルの導出, (2) モデル中に含まれる物理パラメータの同定, (3) 線形制御理論に基づいて状態フィードバック制御器もしくはオブザーバベースド制御器の設計, (4) それをマイコンボードに実装することで安定化実験と評価, これらの一連の過程を通して, 線形制御理論の基本的事項を理解することが本制御教育用実験装置の目的となる。

なお, ロータリーエンコーダから出力されるパルス処理や数値計算処理能力の向上を目的として, 図6の実験装置では, 新たに開発したマイコンボード TK400SH を利用している。本マイコンボードは SH 7125 を搭載しており, TK400A の上位に位置づけられるものであり, TK400A との互換性に配慮した設計となっている⁽⁴⁾。

4. おわりに

本稿では、メカトロ教育を目的として、自律移動型ロボットに搭載することを前提に設計されたマイコンボード TK400A の紹介を行うとともに、それを活用した事例(機械創造演習, 学際実験・実習, コア SSH, 制御教育用実験装置)について紹介した。

最後になったが、TK400A (ならびに TK400SH) の設計は、長野県飯田工業高校の高田直人教諭の多大なるご協力により行われたものであり、心から感謝の意を表したい。また、同校においても実習やクラブ活動などで TK400A が活用されていることを記しておく。

参考文献

- (1) 川谷, 高田: “メカトロ教育用マイコンシステムの紹介”, SI2009, IK4-3, pp.698-700 (2009)
- (2) 川谷ら: “ものづくり教育の事例紹介とその有用性の評価”, 日本機械学会 No.09-90 講演会, pp.19-22 (2009)
- (3) 川谷, 高田: “制御教育用教材 MCORE-IP の紹介と活用事例”, 工学・工業教育研究講演会第60回年次大会, 3-348, pp.584-585 (2012)
- (4) 川谷, 高田: “マイコンボード TK400SH とその応用事例の紹介”, SI2011, 2G1-5, pp.1457-1460 (2011)